



EESTI MAAÜLIKOOL
tehnikainstituut

Kristjan Loodus

**BIOETANOOL 2-TAKTILISE L-KATEGOORIA
MOOTORSÕIDUKI KÜTUSENA**

BIOETHANOL AS 2-STROKE ENGINE MOTOR FUEL IN L-
CATEGORY VEHICLE

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: doktorant Keio Küüt, *MSc*
Retsensent: dotsent Risto Ilves, *PhD*

Tartu 2017

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Kristjan Loodus		Speciality: Technics and tehnology	
Title: Bioethanol as 2-stroke engine motor fuel in L-category vehicle			
Pages: 37	Figures: 15	Tables: 8	Appendixes:
Department: Department of Agricultural and Production Engineering			
Field of research:			
4. Natural Sciences and Engineering			
14. Industrial Engineering and Management			
T130 Technics and Technology			
Supervisor: Phd student Keio Küüt, <i>MSc</i>			
Place and date: Tartu 2017			
<p>More and more two-stroke engine vehicles, which exhaust humes pollute environment around us and damage peoples health, are spotted. It has been previously researched theoretical use of bioethanol fuel as two-stroke engine vehicle fuels but no experiments has been performed. The purpose of this bachelor thesis is to investigate and analyse the difference of exhaust fumes using gasoline and bioethanol. To use bioethanol in such vehicles, some changes had to be made in the test device. The vehicle which was used during tests was attached to dyno (Dynojet 224xLC) with the help of specifically made device to hold the two wheeled vehicle fixed. Exhaust fumes were measured with Bosch BEA 350 and the temperature of the muffler were measured using the infrared thermometer (HoldPeak HP-420). The data were collected during certain speeds and compared between both fuels. The results conducted that using bioethanol engine speed, temperature of the muffler, content of carbon monoxide and nitric oxide were reduced compared to the results gained using gasoline. Whereas engine power and content of carbon dioxide were increased. It can be concluded that using bioethanol fuel the environmental pollution is reduced and peoples health is preserved in the result of decreased pollution.</p>			
Keywords: power, exhaust fumes, environmental pollution,			

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Kristjan Loodus		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Bioetanool 2-taktilise L-kategooria mootorsõiduki kütusena			
Lehekülgi: 37	Jooniseid: 15	Tabeleid: 8	Lisasid:
Osakond: Põllundus- ja tootmistehnika osakond			
Uurimisvaldkond:			
ETIS teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika			
ETIS teaduseriala: 4.14.Tootmistehnika ja tootmisjuhtimine			
CERCS teaduseriala: T130			
Juhendaja: doktorant Keio Küüt, <i>MSc</i>			
Kaitsmiskoht ja –aasta: Tartu 2017			
<p>Üha enam liikleb meie ümber kahetaktilisi mootorsõidukeid, mille väljalaskegaasid reostavad keskkonda ja kahjustavad inimeste tervist. Eelnevalt on küll uuritud teoreetiliselt bioetanooli kasutamist kahetaktilistes mootorites, kuid praktilised katsetused puuduvad. Töö eesmärgiks on uurida ja analüüsida bensiini ja 96,7%-lise bioetanoolkütuse heitmeid keskkonnas. Bioetanooli kasutamiseks tehti vajalikud muudatused mootori efektiivseks töötamiseks ning katsemasin kinnitati mootorratta rakise abil dünostendile Dynojet 224xLC. Heitgaaside andmeid mõõdeti heitgaaside analüsaatoriga Bosch BEA 350 ning summuti temperatuuri mõõtmiseks kasutati infrapuna termomeetrit HoldPeak HP-420. Katse andmeid koguti kindlatel kiirustel ning võrreldi bioetanooliga ja bensiiniga saadud tulemusi. Katse tulemusena kujunes välja, et võrreldes bensiiniga vähenesid bioetanooli kasutades mootori pöörded, summuti temperatuur, vingugaasi ja lämmastikoksiidi sisaldus, kuid mootori võimsus suurenes ja süsihappegaasi sisaldus tõusis. Töö tulemuste põhjal võib väita, et bioetanool kütust kasutades vähendatakse keskkonna saastet ning säästetakse inimeste tervist, kuna ohtlike heitmete hulk vähenes oluliselt.</p>			
Märksõnad: võimsus, heitgaasid, keskkonnasaaste,			

SISUKORD

LÜHENDID	5
SISSEJUHATUS	6
1.TEOREETILISED ALUSED	7
1. 1. Bioetanool	7
1.1.1. Bioetanooli kasutamine mootorikütusena	8
1.1.2 Bioetanoolkütuse manused	10
1.2. L-kategooria mootorsõidukid	11
1.2.1. Kahetaktiline mootor.....	12
1.2.2. Mootori modifitseerimine bioetanoolkütuse kasutamiseks.....	13
2. METOODIKA	15
2.1.Katsesevahendid ja muudatused.....	15
3. TULEMUSED	22
3.1. Katsetamine bensiiniga.....	22
3.2. Katsetamine bioetanooliga.....	23
3.3. Andmete analüüs	25
KOKKUVÕTE	31
KASUTATUD KIRJANDUS	33
BIOETHANOL AS 2-STROKE ENGINE MOTOR FUEL IN L-CATEGORY VEHICLE	36

LÜHENDID

- Ppm – *parts per million*, miljondikosa
- PVC – polüvinüülkloriid (plast), laialdaselt kasutatav ehitusmaterjalina
- RON – *Research Octane Number*, kõige levinum uurimismeetod, määratakse kütuse oktaaniarv

SISSEJUHATUS

Uuringud näitavad, et fossiilsed kütused reostavad keskkonda ja kahjustavad inimeste tervist. Vähendamaks neid kahjulike mõjusid on kütusetootjad järjest enam hakanud muutma toodetavate kütuste koostist. Samuti paisatakse turule mitmeid biokütuseid, nagu näiteks biodiisel ja bioetanool. Biokütuste kasutamine on näidanud muutusi õhku paisatavate kahjulike ühendite osakaalus. Erinevaid biokütuseid toodetakse eesmärgiga säästa keskkonda, kuna nende põlemisel tekib vähem ohtlike ühendeid, kui fossiilsete kütuste puhul. [1]

Biokütuseid kasutatakse neljataktilistes mootorites. Tänavapildis on näha liikumas ka kahetaktilisi mootorsõidukeid, mis antud valdkonnas on jäänud tähelepanuta. Arvestades asjaolu, et kahetaktiline mootorsõiduk saastab keskkonda võrreldes neljataktilisega palju enam, siis on asjalik uurida biokütuste kasutamise võimalusi ka kahetaktilistes mootorsõidukites.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida bioetanoolkütuse kasutamise võimalusi 2-taktilises mopeedis. Antud töös otsitakse vastuseid järgnevatele küsimustele:

- Kas ja kuidas muutub mootori võimsus kasutades bensiini asemel bioetanooli?
- Millised muutused leiavad aset heitgaasides?
- Kas kasutatavast kütusest sõltub ka summuti temperatuur?

Bakalaureusetöö põhineb praktilisel katsetusel Maaülikooli laboris. Antud teema on uudne, kuna varasemalt on jäänud kahetaktilised mootorsõidukid tähelepanuta ning lisaks kasutatakse töös puhtast bioetanooli bensiini-bioetanooli segu asemel.

1. TEOREETILISED ALUSED

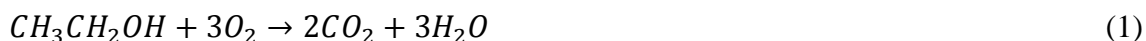
1. 1. Bioetanool

Etanool (ka etüülalkohol, bioetanool) on vedel hapnikurikas biokütus, mida kasutatakse iseseisvalt või lisandina mootorikütustes. Ühendi keemiline valem on $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$. Omaduste poolest on etanoolil iseloomulik lõhn, ta on kergesti lenduv, tuleohtlik ja värvusetu vedelik. [2]

Bioetanooli saadakse suhkruroost, maisist, teraviljast ja muudest tärklise- ja suhkrurikastest toorainetest. Tootmisprotsess koosneb neljast suuremast sammust. Esimeseks on käärimisprotsess, mis on konkreetselt mõeldud tooraines sisalduvate suhkrute töötlemiseks. Järgmiseks etapiks on saadud etanooli destilleerimine ehk vee eemaldamine, et seda oleks võimalik kasutada mootorikütusena. Selle protsessi käigus eemaldatakse enamus veest kuid mitte kõik. Kolmandat etappi nimetatakse veetustamiseks ehk eemaldatakse ka eelmises etapis järele jäänud vesi. Võimalikud on kolm erinevat meetodit. Kõige levinum on molekulaarsõela kasutamine, mille käigus absorbeeritakse vee molekulid. Teiseks meetodiks on aseptroopne destilleerimine, mis kujutab segule vastava aine lisamist, et toimuks etanooli denatureerimine ehk joogikõlbmatuks muutumine. Viimaseks meetodiks on kaltsiumoksiidi kasutamine kuivatusainena. [3]

Bioetanool on kõige laialdasemalt kasutatav biokütus transpordivahendites. Peamine ülemaailmne bioetanooli tootja on Brasiilia, kus toodetakse 50% kogu maailma etanoolist, kasutades selleks suhkruroomahla. USA toodab 95% oma bioetanoolkütusest maisist ning Kanadas kasutatakse lisaks maisile veelgi vähem efektiivseid tooraineid, nagu näiteks nisu ja otra. [2-4]

Etanooli põledes tekib süsihappegaas (CO_2) ja vesi (H_2O), mis on iseloomuliku lõhnaga [4]. Põlemisreaktsiooni võrrand näeb välja:



1.1.1. Bioetanooli kasutamine mootorikütusena

Kõige levinum biokütus on tuntud nimetuse E85 all, mis tähendab, et see sisaldab 85% bioetanooli ja 15% bensiini. Levinud on ka biobensiinid E36 ja E52, kus number näitab bioetanooli protsentuaalset osakaalu. Lisaks on levinud kütus nimetusega E10, mida võib kasutada mootorit ümber seadistamata. [5]

Etanooli kütteväärtus on 23 321,79 kJ/l, samas kui bensiinil on see 34 783,80 kJ/l. Kuna etanooli kütteväärtus on bensiini omast madalam, siis saab sama koguse etanooliga sõita vähem kilomeetreid kui bensiiniga. Seega kulub etanooli rohkem, kui bensiini. [4]

Oktaaniarv näitab kütuse plahvatuskindlust ehk võimet isesüttimisele vastu seista (ka detonatsioonikindlus). Etanooli oktaaniarv on 120 ja bensiinil 97, mis näitab, et etanool on plahvatuskindlam. Järelikult, tõstes mootori surveastet, saab parandada mootori võimsuslike ja ökonoomsuslike parameetreid. [6, 7] Näiteks väheneb etanooli kasutamisel vingugaasi sisaldus heitgaasides. [4, 5]

Detonatsiooni iseloomustab kütusesegu plahvatuslik põlemine, mis põhjustab rõhu suurt tõusu. Detonatsioon võib esile kutsuda mootori purunemise, ülekuumenemise või võimsuse languse, mille põhjuseks on kütuse koostise mittesobivus mootori konstruktsioonile. [8]

Kuna bioetanool sisaldab hapniku, siis sellest tulenevalt on ka õhu ja kütuse stõhhiomeetriline vahekord väiksem võrreldes bensiiniga. Bensiini puhul on täielikuks põlemiseks vaja ühele kilogrammile kütusele lisada 14,7 kg õhku. Bioetanooli puhul on sama koguse kütuse põlemiseks vajalik õhu kogus 9 kg. Seega konstantse õhu koguse korral põleb etanooli rohkem, kui bensiini. [9]

Bioetanoolkütuse ja bensiini omaduste paremaks ülevaateks on koostatud võrdlev tabel (tabel 1).

Tabel 1. Bioetanooli ja bensiini omadused [4]

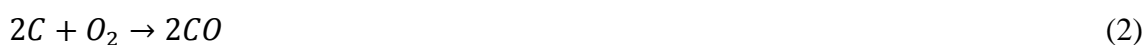
Omadus	Bioetanool	Bensiin
Keemiline valem	C_2H_5OH	$C_5 - C_{12}H_x$
Molekulkaal, kg/kmol	46	111
Tihedus (temperatuuril 15°C), kg/m ³	800..820	750
Energia sisaldus, MJ/kg	26,4	41,3
Aurumissoojus, kJ/kg	930	180
Oktaaniarv (RON)	120	97
Stõhhiomeetriline õhu ja kütuse suhe	9,0	14,7
Keemistemperatuur, °C	78	30-190

Bioetanool sobib kasutamiseks ainult selleks seadistatud mootoritel, kuna etanool lagundab mootori kummist ja plastikust detaile ning kiirendab korrosiooni teket tsingist (Zn), pliiist (Pb), valgevasest (Cu ja Zn sulam) ja alumiiniumist (Al) detailidel. Mootorile tehtavat kahju on võimalik vähendada estrite baasil valmistatud õlidega. Näiteks Red Line firma õlid, mis kõik on valmistatud estite baasil. Leidub ka teisi tootjaid, kelle toodete hulgast võib leida sobiva õli (*Motul, Addinol*). [4,6]

Üheks peamiseks põhjuseks alternatiivkütuste uurimiseks ja kasutusele võtmiseks on soov vähendada heitgaasides olevate kahjulike ühendite kogust. Heitmetes sisalduvad ühendid, CO₂, CO, SO₂ ja NO, on kahjulikud nii taimedele, loomadele kui ka inimestele. Lisaks kahjulikele ühenditele sisaldavad heitmed ka vett (H₂O).

Süsihappegaas (CO₂) tekib hingamisel ning erinevate ühendite kuumutamisel piisava hulga hapnikuga. Süsihappegaas on lõhnatu ja värvitu gaas. Taimed kasutavad atmosfääris olevat süsihappegaasi, et toota hapniku ning kui kasutada taastuvaid energiaallikaid püsib süsihappegaas oma looduslikus ringluses. Fossiilsete kütuste kasutamisel tõuseb süsihappegaasi hulk atmosfääris, mille tulemusena suureneb kasvuhuoneefekt. [10] Kasvuhooneefektiks nimetatakse maapinnalt tagasi peegelduva soojuskiirguse neeldumist atmosfääris olevates kasvuhuonegaasides, mis põhjustab atmosfääri liigset soojenemist [11]. Mingi teatud piirini on kasvuhuoneefekt kasulik, kuna ei lase Maal ära jahtuda ent ületades selle piiri võib keskmine temperatuur tõusta ja põhjustada liikide hävinemist.

Vingugaas (CO) tekib põlemisel, kui kütusesegu on liiga rikas ehk silindrisse mineva kütuse koostises on liiga vähe hapniku. Vingugaas on maitsetu, lõhnatu ja värvitu gaas, mis on inimesele ohtlik, kuna seob ennast punaste verelibledga ja tekitab sellega probleeme hapniku vastuvõtlikkuses. See on ohtlik, kuna inimese aju vajab elutegevuseks hapniku. Igapäevaelus põhjustavad vingumürgitust näiteks liiga vara kinni pandud ahjusiiber või ventileerimata ruumis töötav auto mootor. Vingugaasi tekkepõhjuseks on mittetäielik põlemine ehk kütuse põlemine toimub hapnikuvaeses keskkonnas ja seetõttu ei vabane osa kütuses sisalduvast energiast – on üks heitgaaside põlemisjääkidesse tekkiv ühend. [8,9].Vingugaasi tekkimine on näidatud võrrandis 2.



Lämmastikoksiid (NO) tekib kütuse põletamisel kõrgel temperatuuril ja rõhul. Lämmastikoksiid on üks peamisi mootorsõidukite tekitatud saasteallikaid atmosfääris. Lämmastikuühendid ühinevad õhus oleva niiskusega, tekitades happevihmasi. Happevihm põhjustab loomade haigestumist, metsade hävimist (nt: okaspuudel kaovad okkad), muldade (tõrjub taimede kasvuks vajalikud elemendid välja) ja veekogude hapestumist (organismid hukkuvad) . Inimkeskkonnale põhjustavad happevihmad ehitusmaterjalide lagunemist ja metallide korrodeerimist. Lämmastikoksiidi sissehingamine võib põhjustada inimesele terviseprobleeme, näiteks uimasust, peavalu, kõhuvalu ja kõha. [10, 11]

Teoreetiliselt väheneb bioetanooli kasutades süsihappegaasi, vingugaasi ja lämmastikoksiidi sisaldus heitgaasides. Suurenevad mootori võimsus ja pöördemoment. [3, 4]

1.1.2 Bioetanoolkütuse manused

Manusteks nimetatakse aineid, mida lisatakse kütustele määrideomaduste parandamiseks ja kütuse säästmiseks. Osa lisandeid manustavad kütusele tootjad ise, kuid sellest võib jääda väheks ning vajadusel võib kütusele lisandeid eraldi juurde manustada. [12]

Manuseid on toodetud erinevateks otstarveteks. Neid võib kasutada näiteks oksüdeerimisprotsessi takistamiseks, käivitamise ja määrimise parendamiseks, kütusest

elusorganismide eemaldamiseks, veetumise vastu, oksüdatsiooniastme tõstmiseks, toitesüsteemi puhastamiseks ja kütuse pikaajaliseks säilitamiseks. [13]

Bioetanool kütuse kasutamise korral kahetaktilises mootoris tuleb juurde manustada estrite baasil valmistatud täissünteesilist või mineraalset õli, kuna estrid segunevad alkohol kütuses. Estrite baasil valmistatud mootori õlid on biolagunevad ning neid toodetakse taastuvatest allikatest. [14]

1.2. L-kategooria mootorsõidukid

L-kategooria sõidukiteks nimetatakse üldjuhul kahe- või kolmerattalisi sõidukeid aga ka üksikuid neljarattalisi. [15]

Sõidukid jaotatakse veel omakorda kategooriatesse baseerudes mootori sisepõlemismahule, valmistajakiirusele ning rataste arvule ja asetusele. Kõiki neid näitajaid võetakse sõiduki paigutamisel kindlasse klassi arvesse. [16]

Mootori sisepõlemismahu järgi jaotatakse peamiselt kahte suuremasse klassi – need sõidukid, mille mootori sisepõlemismaht ületab 50cm^3 ja need, millel ei ületa. Näiteks klasside L1e, L2e ja L6e klasside mootorsõidukite puhul jääb mootori sisepõlemismaht alla 50cm^3 kuid L3e, L4e, L5e ja L7e puhul ületab. [16]

Maksimumkiiruse puhul on samuti jaotatud sõidukid kahte klassi. Ühte klassi kuuluvad sõidukid, mille valmistajakiirus ei ületa 45km/h , nendeks kategooriateks on L1e, L2e ja L6e. Teise klassi paigutatakse need sõidukid, mille valmistajakiirus ületab 45km/h , milleks on vastavalt L3e, L4e, L5e ja L7e kategooria. [16]

Rataste arvu ja asetuse juures toimub jaotamine märksa keerulisemalt. Arvesse võetakse, kas sõidukil on kaks, kolm või neli ratast. Lisaks arvestatakse kolmerattalise puhul rataste sümmeetriat. Kaherattalised sõidukid on L1e, L3e ja L4e kategooria sõidukid. Arvestatakse ka külghaagise olemasolu kaherataste puhul – L3e on ilma külghaagiseta sõiduk, L4e on külghaagisega. Kolmerattalised kuuluvad kategooriatesse L2e ja L5e, kusjuures L5e on sümmeetrilise rataste asetusega sõiduk. L6e ja L7e kategooriasse kuuluvad neljarattalised sõidukid. [16]

1.2.1. Kahetaktiline mootor

Kahetaktilistes mootorites kasutatakse kütusena mootoribensiini ja õli segu, kuna neil puudub omaette õlitussüsteem. Mootori liikuvad detailid saavad õlituse koos kütusega ning seega tuleb manustada pidevalt kütusele ka õli. Reeglina lisatakse ühe osa õli jaoks 50 osa kütust (1:50), kui tootja õli kogust teisiti ette ei näe.

Kahetaktiline mootor teeb ühe vääntvõlli täispöördega läbi oma töötsükli. Ühe kolvikäiguga toimub mootoris kaks protsessi: sisselaske ja survetakt kattuvad ning töö- ja väljalasketakt ühtivad.

Mootorit käivitades liigub kolb alumisest asendist ülemisse, tekitades enda alla hõrenduse. Teatud kolvi kõrgusel avab kolvi alumine serv silindris oleva akna mille kaudu imetakse hõrenduse tõttu küttesegu silindri aknast vääntvõlli ruumi ehk karterisse. Samal ajal surutakse kolvi ees olev kütus kokku. Kolvi jõudmisel ülemisse surnud seisu süüdatakse kokkusurutud segu, millega algab töötakt ja kolb liigub tagasi alla, kus suleb oma alumise servaga sisselaske akna. Seejärel algab küttesegu eelnev kokkusurumine karteris. Rohkem allapoole liikudes avab kolb ülemise servaga silindris oleva väljalaskeakna, väljuvad surve all olevad läbipõlenud gaasid ning nende väljapuhumine jätkub veel ka kolvi üles tagasi liikumisel seni, kuni kolb suleb oma ülemise servaga väljalaske akna. [17]

Kahetaktilise mootori eeliseks on nende mehaaniline lihtsus. Puuduvad klapid, mille tõttu lihtsustub nende ehitus ja väheneb kaal. Esineb ka puudusi, näiteks on kahetaktiliste mootorite heitgaaside kogus suurem, kui neljaktaktilistel. Seda seetõttu, et kahetaktilistel mootoritel manustatakse õli kütuse sisse, mis põlemisel tekitab suuri õli põlemisjääkide pilvi. Neljaktaktilistel mootoritel seevastu saavad liikuvad detailid oma õlituse eraldi õli reservuaarist, mis ei puutu kütusega üldse kokku. Kahetaktilised mootorid on tänapäeval kasutusel mootorsaanel, mootorratastel, mopeedidel ning muudel väiksematel masinatel. [17,18]

1.2.2. Mootori modifitseerimine bioetanoolkütuse kasutamiseks

Bioetanooli kasutamiseks kahetaktilises karburaatormootoris on vaja teha mõned muudatused. Tuleb leida ka sobiv mootori õli, mis lahustuks alkoholkütuses. Lahenduseks on kasutusele võetud estrite baasil taastuvatest allikatest toodetud mootoriõlid, mis on ka biolagunevad.

Kuna bioetanool lagundab kummist ja plastikust detaile ning seob endaga veemolekule, mis soodustab mootori korrodeerumist, siis on vaja bensiinkütusele mõeldud sõidukis teha vajalikud muudatused ja täiendused. Need muudatused sisaldavad:

- peadüüsi vahetust;
- tihendite, voolikute ja terasest kütusepaagi väljavahetamine;
- kütuse kraani ja ujukinõela asendamine sobivama vastu. [14]

Peadüüsi vahetamine on vajalik, kuna bensiini ja bioetanooli põletamiseks vajalik õhu ja kütuse suhe on erinev. Näiteks bensiinil on see 1:14, mis tähendab, et ühe kg kütuse põletamiseks läheb tarvis 14 kg õhku. Etanoolil on suhteks 1:9 – vastavalt siis üks kg kütust ja üheksa kg õhku [4]. Koostades ristkorrutise ja avaldades sellest etanooli jaoks kasutatava düüsi läbimõõdu, saame võrduse:

$$D_E = \frac{14D_B}{9}, \quad (3)$$

kus D_E – bioetanoolkütusega kasutatava düüsi ava läbimõõt mm;

D_B – bensiiniga kasutatava düüsi ava läbimõõt mm.

Tihendite ja voolikute väljavahetamine on oluline kuna etanool söövitab ja muudab materjalid hapraks. Ohus on kütusega kokku puutuvad detailid, mis on valmistatud korgist, polüetaanist, naturaalsest kummist, plüvinüülkloriidist (PVC), polüamiidist jne. Kütuse voolikuks sobib kasutada silikooni sisaldusega materjale, näiteks mahlaauruti või klaasipesuvedeliku voolik. Kütusepaak tuleb välja vahetada juhul kui see on valmistatud alumiiniumist, messingist või tsingist. Asendus kütusepaagiks sobib metallidest kasutada näiteks puhtast terasest, roostevabast terasest, vasest, pronksist või mustast rauast valmistatud paake. Mittemetallilistest materjalidest sobib kasutamiseks näiteks termotöödeldud klaaskiust või plastmassist valmistatud kütusepaagid. [14,19]

Kütusekraani puhul tuleb tähelepanu pöörata, et see ei oleks kummist membraan klapiga. Kummi membraan võib etanooliga kokkupuutes puruneda ning seejärel ei saa peatada kütuse pealevoolu. Asenduseks sobib kasutada näiteks plastmassist või metallist kütusekraan, mida etanool ei kahjusta. Samuti peab kontrollima milline on karburaatoris olev ujukinõel. Plastmassist ujukinõel võib etanooliga kokkupuutes paisuda, mistõttu ei hakka karburaator tööle. Metallist ujukinõela puhul ei teki probleeme karburaatori töös.

[14]

2. METOODIKA

2.1. Katsesevahendid ja muudatused

Katses kasutatud sõidukiks on L1e kategooria mopeed *Yamaha Aerox* (vt joonis 1).



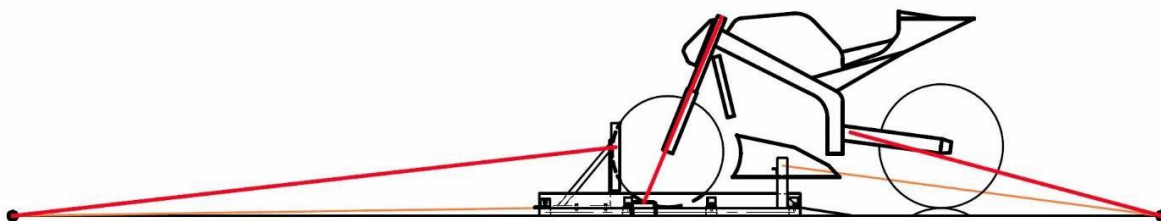
Joonis 1. Mopeed Yamaha Aerox

Mopeedi tühi mass on 97 kg ja täismass 277 kg. Pikkus 1743 mm, mootori töömaht 70 cm^3 ja võimsus 6,6 kW. Antud masin on hobisõiduk, mis on ümberehitatud. Vahetatud on silinder, mis algselt oli 50 cm^3 , kuid see asendati 70 cm^3 *Malossi MHR Replica* silindriga. Koos silindriga vahetati ka summuti *Malossi MHR Racing* vastu. Suurem silinder vajab ka rohkem kütust, selleks kasutati *Dellorto* tootja 21 mm läbimõõduga karburaatorit mis algselt oli 12 mm läbimõõduga. Samuti on muudetud variaator, kus on vahetatud sidur, siduri vedrud, surve vedru, rihm, variaatori taldrikud ja variaatori rullikud. Tehnilised andmed peale ümberehitust on tabelis 2.

Tabel 2. Yamaha Aeroxi tehnilised näitajad

Parameeter	Väärtus
Tühimass, kg	97
Täismass, kg	277
Pikkus, mm	1743
Mootori töömaht, cm ³	70
Mootori võimsus, kW	6,6

Katse viiakse läbi Maaülikooli katselaboris asuval dünostendil *DynoJet 224xLC*. Antud dünostend on mõeldud autodele, kuid varasemalt bakalaureusetöö raames ehitatud rakise abil saab mõõta ka mootorratta näitajaid [20]. Moppeed kinnitati dünostendile vastavalt skeemile, mis on näha joonisel 2.



Joonis 2. Kaherattalise masina kinnituse skeem dünostendile koos rakisega. [20]

Katses kasutatud moppeed kinnitati koormarihmade abil rakise külge (vt joonis 3). Rakis omakorda kinnitati samuti koormarihmadega dünostendi kinnitusaasade külge. Koormarihmad pingutati ühtlaselt, et moppeedi tagumine ratas asetseks dünostendi trumli keskel.



Joonis 3. Moppeed kinnitatult dünostendile

Dünostendi abil saab mõõta näiteks pöördemomenti, võimsust, kiirust, mootori pööreid. Antud töös kasutati seadet kiiruse, pöördemomendi ja võimsuse mõõtmiseks. Masinat on soovitatav kasutada temperatuuridel 0 °C...70 °C. Seadme mõõdetav maksimaalne võimsus ja kiirus võivad olla vastavalt 1492 kW ja 322 km/h. Dünostendi tulemuste graafiliseks kuvamiseks kasutati programmi *WinPep 7*. Antud programm on vaba varaliselt alla laetav *DynoJet* tootja kodulehelt. Dünostendi tehnilised parameetrid, sh maksimaalne koormus ja mõõtmised, on välja toodud tabelis 3. [21, 22]

Tabel 3. *DynoJet 224xLC* tehnilised andmed. [21]

Parameeter	Väärtus
Maksimaalne võimsus, kW	1492
Maksimaalne kiirus, km/h	322
Trumli diameeter, cm	61
Trumli pikkus, cm	205
Maksimaalne telje koormus trumlile, kg	1361
Kasutustemperatuur, °C	0...70

Mootori võimsust on võimalik välja arvutada valemiga 4, kui on teada mootori jõumoment ja pöörlemissagedus [23]. Antud valemist on võimalik avaldada veel pöördemomenti või pöörlemissagedust.

$$P = \frac{n * M}{9549}, \quad (4)$$

Kus P on mootori võimsus, kW;

n on mootori pöörlemissagedus, p/min;

M on mootori pöördemoment, Nm.

Väljuvate heitgaaside koostist mõõdetakse emissioonianalüsaatoriga *Bosch BEA 350* (vt joonis 4.), millega on võimalik mõõta väljalaskegaasides sisalduvat CO, CO₂, HC, O₂, λ ja NO hulka ning mootori pööreid [24]. Antud katses mõõdeti CO, CO₂ ja NO hulka heitgaasides.



Joonis 4. Heitgaaside analüsaator *Bosch BEA 350*

Summuti temperatuuri mõõtmiseks kasutatakse infrapuna punkt termomeetrit *HoldPeak HP-420* (vt joonis 5). Termomeetriga on võimalik mõõta temperatuure $-30^{\circ}\text{C} \dots 420^{\circ}\text{C}$. Kõige täpsema tulemuse saab $0^{\circ}\text{C} \dots 100^{\circ}\text{C}$ juures, kuna selles vahemikus annab tootja eksimuseks $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Alla 0°C ja üle 100°C on eksimus $\pm 3^{\circ}\text{C}$. [25] Seadme tehnilised näitajad on toodud tabelis 4.



Joonis 5. Infrapuna termomeeter *HoldPeak HP-420*

Tabel 4. Infrapuna termomeetri HoldPeak HP-420 tehnilised näitajad [25]

Parameeter	Väärtus
Temperatuuride vahemik	-30°C...420°C
Täpsus	±3 -30°C... 0°C ±2 0°C...100°C ±3 ≥100°C
Töökeskonna temperatuur	0°C...40°C
Kaal/ mõõdud	130g/146; 80; 38 (mm)

Bioetanoolile sobiva õli leidmiseks valiti kahe erineva õli vahel, milleks olid *Motul 800 2T Factory Line* ja *Red Line Two Stroke ALLSPORT*. *Motul* on välja töötanud suure jõudlusega sünteetilise estri baasil määrdeaine, mis vähendab hõõrdumist ja kulumist. *Motul* õli on oranži värvi, tihedusega 0,927 kg/m³ ja viskoossusega 100°C juures 19,2 mm²/s. Tootja *Red Line Synthetic Oil* kõik mootoriõlid on toodetud estrite baasil olles biolagunevad ning keskkonnasäästlikud. *Red Line Two-Stroke ALLSPORT* on heade määrdeomadustega kõrgkvaliteetne õli, mida võib kasutada võistlusmasinates. *Red Line* õli on punast värvi, tihedusega 0,883 kg/m³ ja tihedusega 100°C juures 15,4 mm²/s. [26, 27] Kahe õli omadused on toodud tabelis 5.

Tabel 5. *Motul 800 2T Factory Line* ja *Red Line Two-Stroke ALLSPORT* õlide omadused [26, 27]

Parameeter	<i>Motul 800 2T Factory Line</i>	<i>Red Line Two-Stroke ALLSPORT</i>
Värvus	oranž	punane
Tihedus 20°C juures, kg/m ³	0,927	0,883
Viskoossus 40°C juures, mm ² /s	157,4	89,6
Viskoossus 100°C juures, mm ² /s	19,2	15,4
Leekpunkt, °C	274	110

Mõlemat õli manustati bioetanoolile vahekorras 1:50, kusjuures anumasse valati 2,5 ml 96,7%-list bioetanooli ja 0,05 ml õli. Seejärel vaadeldi ühe ööpäeva jooksul toimunud muudatusi lahustumisel. Vaatluse järel otsustati kasutada *Red Line Two-Stroke ALLSPORT* õli, sest tema lahustuvus bioetanoolis oli parem.

Katsete käigus uuriti, milline on mootori võimsus, pöörlemissagedus, pöördemoment, heitgaasid ja summuti temperatuur 10 cm kaugusel silindrist. Esmalt mõõdeti loetletud

parameetrid kasutades mopeedis kütusena bensiini. Seejärel tehti vajalikud muudatused bioetanoolkütuse kasutamiseks ja sooritati uuesti samad mõõtmised. Katsetused tehti sarnaste keskkonnatingimuste käes. Bensiiniga katsetades oli ümbritseva keskkonna temperatuuriks 8°C ja õhu niiskuseks 33%. Bioetanooliga see vastu oli temperatuuriks 7,5°C ja õhuniiskuseks 40%.

Bioetanool kütuse kasutamiseks muudeti karburaatoris olev düüs. Uue düüsi suurus arvutati välja valemiga 3:

$$D_E = \frac{14 \cdot 0,9}{9} = 1,4 \text{ (mm)}.$$

Lisaks mopeedi enda bensiinipaagile valmistati kütuse kiiremaks ümbervahetamiseks kanistrist bioetanooli kasutamiseks teine kütusepaak (vt joonis 6). Kanistri põhja puuriti auk, kuhu kinnitati vooliku nippel. Voolikuks kasutati klaasipesuri voolikut läbimõõduga 4 mm. Bioetanooli paak kinnitati mopeedi raamile karburaatorist kõrgemale, et kütus saaks gravitatsioonijõul karburaatorisse voolata.



Joonis 6. Kanistrist valmistatud kütusepaak bioetanooli kasutamiseks.

Heitgaasidest mõõdetakse vingugaasi (CO), süsihappegaasi (CO₂) ja lämmastikoksiidi (NO) sisaldust. Katsetuse käigus kiirendatakse sõiduk kindlale kiiruseni ning hoitakse mopeedi ühtlasel kiirusel, mille jooksul kogutakse katse andmeid. Kasetust tehakse nelja erineva kiirusega 0 km/h, 20 km/h, 30 km/h ja 45 km/h. Mootori maksimaalse võimsuse ja pöördemomendi saamiseks kiirendatakse kuni 45 km/h.

Katseid tehes peab jälgima rangelt ohutusnõudeid. Kuna dünostendil on liikuvad osad, siis on kõrvalistel isikutel seal viibimine keelatud. Kasutada tuleb kuulmiskaitsmeid ning vajadusel hingamisteede kaitsevahendeid. Mopeedi juhtides tuleb kasutada kiivrit ning kaitseprille, kuna mopeedi radiaatoris oleva vee või õhkjahutusega mootori jahutamiseks kasutatav ventilaator puhub mopeedijuhile õhku näkku. Ventilaatori eesmärgiks on tagada õhu pealevool sisselaske kollektorisse, imiteerides sõitu. Katselabor peab olema hästi ventileeritud, sest mootorist väljuvad heitgaasid on tervisele kahjulikud.

3. TULEMUSED

3.1. Katsetamine bensiiniga

Tühikäigul saadi summuti temperatuuriks 74,1°C. Heitgaasis sisaldus vingugaasi 3,256%, süsihappegaasi 1,83% ja lämmastikoksiidi 182 ppm.

Kiirusel 20 km/h oli pöörlemissageduseks 3400 p/min. Mootori võimsuse väärtuseks saadi 0,2kW. Pöördemomendiks 0,56 Nm ja summuti temperatuuriks 178,7°C. Vingugaasi sisalduseks heitgaasides saadi 4,818%, süsihappegaasi 3,82% ja lämmastikoksiidi 172 ppm.

Tõstes kiirust 10 km/h võrra, saadi pöörlemissagedusel 3530 p/min võimsuseks 0,39kW, pöördemomendiks 1,05Nm ja summuti temperatuuriks 196,7°C. Heitgaasides sisaldus 4,742% vingugaasi, 3,58% süsihappegaasi ja 75ppm lämmastikoksiidi.

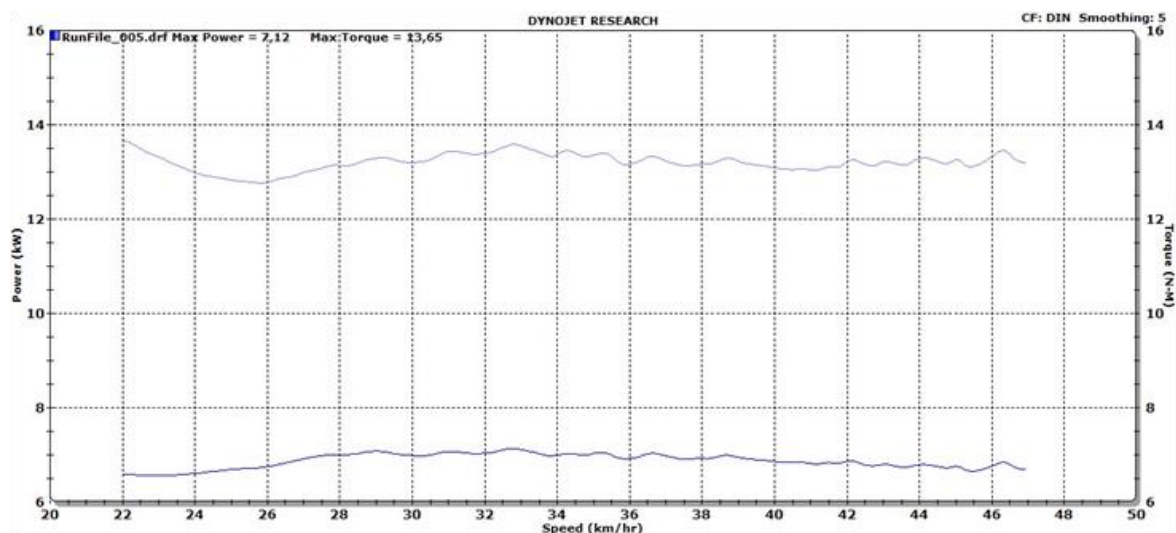
Maksimumkiirusel, milleks oli 45km/h, saadi mootori pöörlemissageduseks 3930 p/min ja võimsuseks 0,72 kW. Pöördemomendi väärtuseks saadi 1,72 Nm ja summuti temperatuuriks 252,5°C. Vingugaasi, süsihappegaasi ja lämmastikoksiidi sisaldus heitgaasides antud kiirusel vastavalt 5,05%, 3,76% ja 52 ppm.

Katse käigus saadud andmete põhjal koostati tabel 6. Tabelist on näha, et kiiruse tõustes suurenes heitgaasides vingugaasi ja süsihappegaasi osakaal, kuid vähenes lämmastikoksiidi hulk.

Tabel 6. Mõõdetud parameetrite väärtused kasutades kütusena bensiini.

Mõõdetav parameeter	Arvuline väärtus			
Kiirus (km/h)	0	20	30	45
Pöörlemissagedus (p/min)	1100	3400	3530	3930
Võimsus (kW)	0	0,2	0,39	0,72
Pöördemoment (Nm)	0	0,56	1,05	1,72
Temperatuur (°C)	74,1	178,7	196,7	252,5
Vingugaas (%)	3,256	4,818	4,742	5,05
Süsihappegaas (%)	1,83	3,82	3,58	3,76
Lämmastikoksiid (ppm)	182	172	75	52

Mopeedi maksimaalse võimsuse välja selgitamiseks kiirendati masinat ühtlaselt kuni 45km/h. Dünostendi ja programmi WinPep 7 koosmõjul koostati graafik, mis näitab võimsuse (vasakul teljel) ja pöördemomendi (paremal teljel) sõltuvust kiirusest (alumine telg) (vt joonis 7).



Joonis 7. Programmi WinPep 7 vahendusel kuvatud graafik võimsuse ja pöördemomendi sõltuvusest kiirusest.

Graafiku ülemine helesinine joon näitab konkreetselt pöördemomendi sõltuvust kiirusest ja tumesinine alumine joon võimsuse sõltuvust kiirusest. Graafiku põhjal leiti maksimaalseks võimsuseks ja pöördemomendiks vastavalt 7,16 kW ja 13,67 Nm.

3.2. Katsetamine bioetanooliga

Kiirusel 0 km/h (tühikäigul) saadi pöörlemissageduseks 1100 p/min ja summuti temperatuuriks 68,2°C. Heitgaasides sisaldus vingugaasi, süsihappegaasi ja lämmastikoksiidi vastavalt 0,408%, 4,12% ja 17ppm.

Mopeedi kiiruse 20km/h korral saadi pöörlemissageduseks 3200 p/min, võimsuseks 0,97 kW ja pöördemomendiks 2,89 Nm. Summuti temperatuuriks mõõdeti 158,2°C. Vingugaasi sisaldus heitgaasides oli 0,349%, süsihappegaasi 4,2% ja lämmastikoksiidi 9ppm.

Sõites kiirusel 30km/h saadi pöörlemissageduseks 3490 p/min, võimsuseks 0,99 kW ja pöördemomendi väärtuseks 2,89 Nm. Summuti temperatuur oli antud kiirusel 162,7°C.

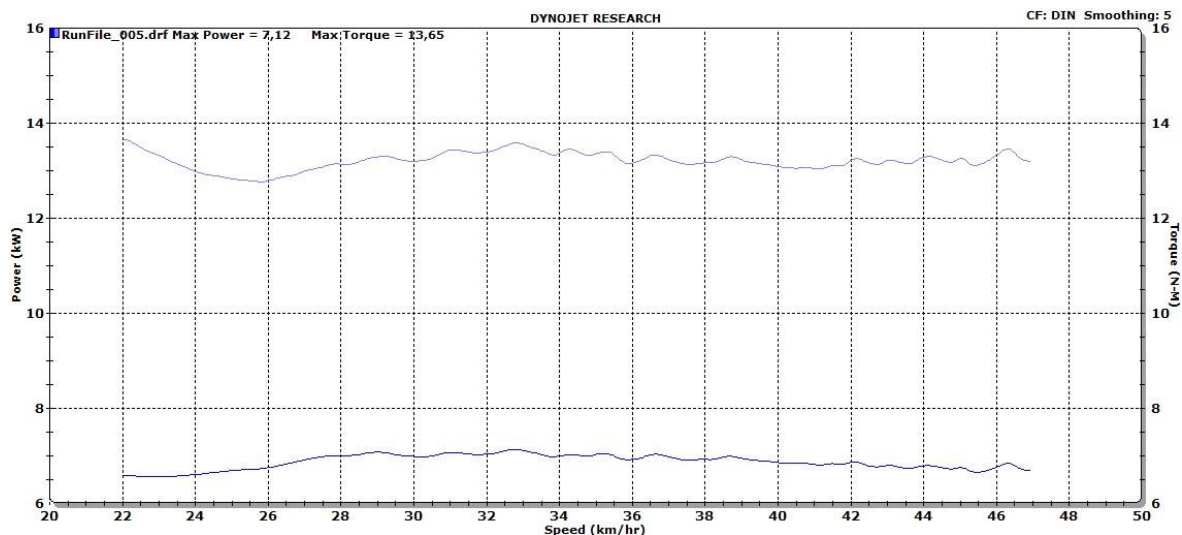
Heitgaasides sisalduv vingugaasi hulk oli 0,649%, süsihappegaasi 5,02% ja lämmastikoksiidi 1 ppm.

Kiirendades sõiduki maksimumkiiruseni 45 km/h saadi pöörlemissageduseks 3520 p/min, võimsuseks 1,12 kW ja pöördemomendiks 3,04 Nm. Summuti temperatuuri väärtuseks mõõdeti 220,2°C. Heitgaasides sisaldus 0,807% vingugaasi, 5,71% süsihappegaasi ja 6 ppm lämmastikoksiidi.

Tabel 7. Parameetrite väärtused bioetanoolkütuse kasutamisel.

Mõõdetav parameeter	Arvuline väärtus			
Kiirus (km/h)	0	20	30	45
Pöörlemissagedus (p/min)	1100	3200	3490	3520
Võimsus (kW)	0	0,97	0,99	1,12
Pöördemoment (Nm)	0	2,89	2,71	3,04
Temperatuur (°C)	68,2	158,2	162,7	220,2
Vingugaas (%)	0,408	0,349	0,649	0,807
Süsihappegaas (%)	4,12	4,2	5,02	5,71
Lämmastikoksiid (ppm)	17	9	1	6

Bioetanooliga kiirendades kuni 45 km/h saadi mootori maksimaalseks võimsuseks 7,12 kW ja maksimaalseks pöördemendiks oli 13,65 Nm, mis on nähtav jooniselt 8.



Joonis 8. Bioetanooliga saadud maksimaalne mootori võimsus ja pöördemoment kiirusel 45 km/h

3.3. Andmete analüüs

Kahe kütuse kasutamisel saadud tulemuste paremaks võrdluseks koostati tabel (vt tabel 8).

Valemi (5) abil leiti iga parameetri suhteline erinevus kindlal kiirusel [28]:

$$R_K = \frac{K_B - K_E}{K_B} \cdot 100\% \quad (5)$$

kus R_K – suhteline erinevus %

K_B – parameetri väärtus bensiinkütuse puhul

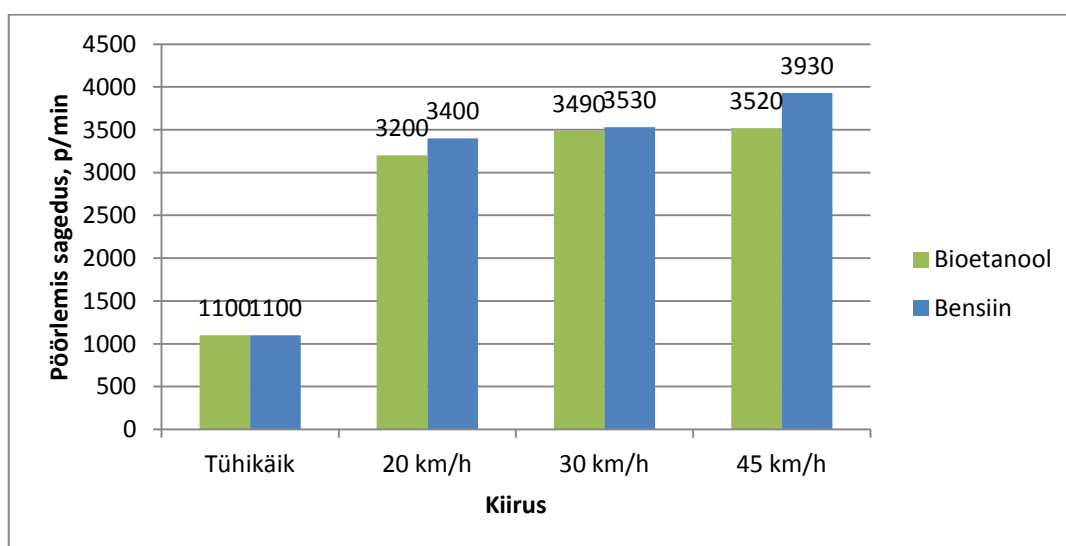
K_E – parameetri väärtus bioetanoolkütuse puhul

Tabelisse kanti leitud erinevuste keskmine väärtus.

Tabel 8. Bensiini ja bioetanooli kasutamisel saadud tulemuste võrdlev tabel

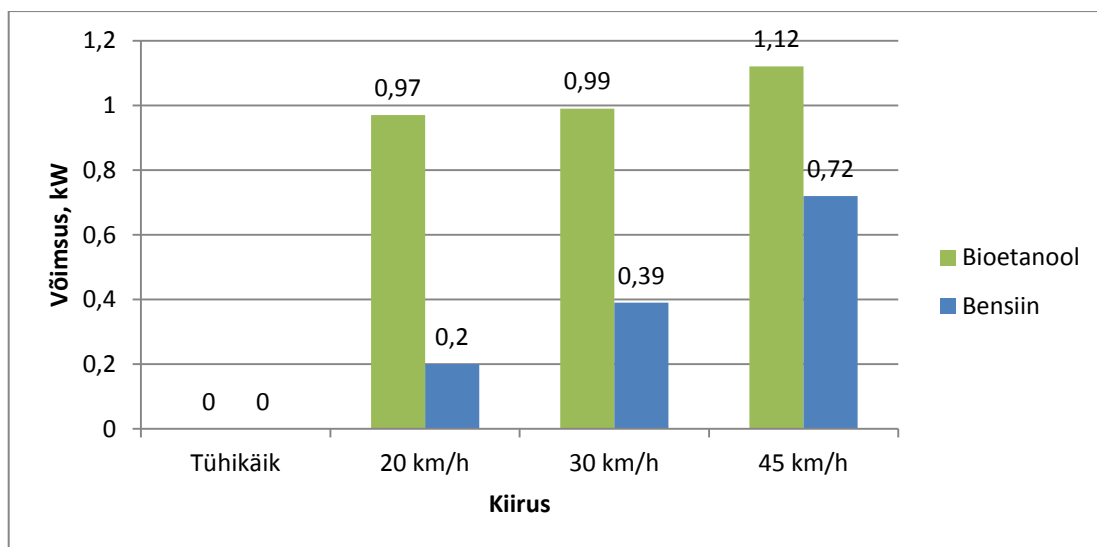
Kütus	Bensiin	Bioet.	Bensiin	Bioet.	Bensiin	Bioet.	Bensiin	Bioet.	Suhteline erinevus
Kiirus (km/h)	0		20		30		45		
Pöörlemisagedus (p/min)	1100	1100	3400	3200	3530	3490	3930	3520	-4
Võimsus (kW)	0	0	0,2	0,97	0,39	0,99	0,72	1,12	198
Pöördemoment (Nm)	0	0	0,56	2,89	1,05	2,71	1,72	3,04	217
Temperatuur (°C)	74,1	68,2	178,7	158,2	196,7	162,7	252,5	220,2	-12
Vingugaas (%)	3,256	0,408	4,818	0,349	4,742	0,649	5,05	0,807	-88
Süsihappegaas (%)	1,83	4,12	3,82	4,2	3,58	5,02	3,76	5,71	57
Lämmastikoksiid (ppm)	182	17	172	9	75	1	52	6	-93

Iga parameetri puhul koostati ka graafik, mis näitaks piltlikult erinevust kahe erineva kütuse kasutamisel tekkinud parameetrite väärtustes.



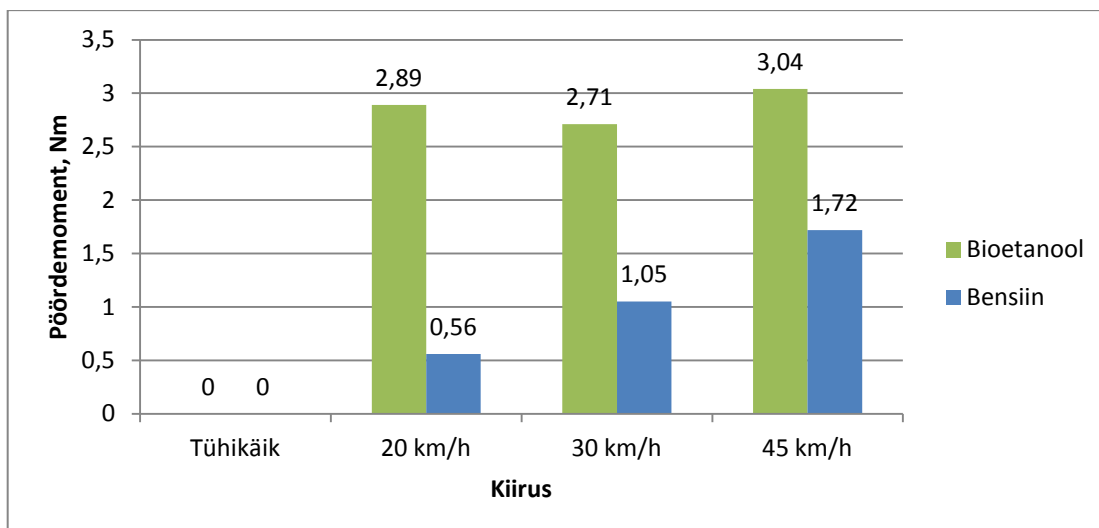
Joonis 9. Mootoripöörded bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel

Graafikult joonisel 9 on näha, et erinevus mootori pööretes ei ole märgatavalt suur. Tühikäigul erinevust ei esine, samuti on erinevus vaevumärgatav kiirusel 30 km/h. Kiirusel 20 km/h on mootori pöörded bensiini kasutades 200 p/min võrra suuremad, kui bioetanooli puhul (vastavalt 3400 p/min ja 3200 p/min). Kõige suurem erinevus avaldub kiirusel 45 km/h, mille juures on bioetanooli kasutades mootori pöörded 410 p/min võrra madalamad, kui bensiinkütuse puhul. Tabelist on näha, et keskmine suhteline erinevus mootori pööretes on -4%, kusjuures miinus märk näitab, et bioetanooli kasutades töötab mootor madalamatel pööretel.



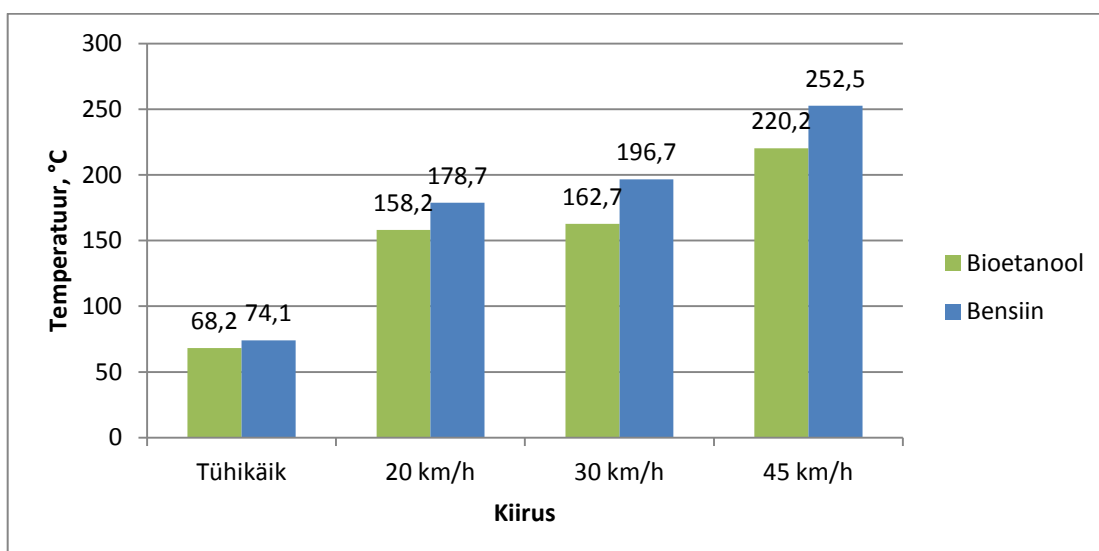
Joonis 10. Mootori võimsus bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel

Graafikult on näha, et võimsuses avalduvad väga ilmekalt erinevused (vt joonis 10). Bensiini kasutades muutub mootori võimsus kiiruse kasvul ühtlaselt, olles kiirustel 20 km/h, 30 km/h ja 45 km/h vastavalt 0,2 kW, 0,39 kW ja 0,72 kW. Bioetanooli puhul muutub mootori võimsus kiiruse kasvul märksa vähem, kuid on iga kiiruse korral suurem, kui bensiini puhul. Võimsus erinevatel kiirustel kasutades bioetanooli jääb vahemikku 0,97 kW kuni 1,12 kW. Tabelist on näha, et keskmine suhteline erinevus bensiiniga mõõdetud võimsuste ja bioetanooliga mõõdetud võimsuste vahel on 198%. Teisisõnu suurenes bioetanooli kasutades mootori võimsus 198%.



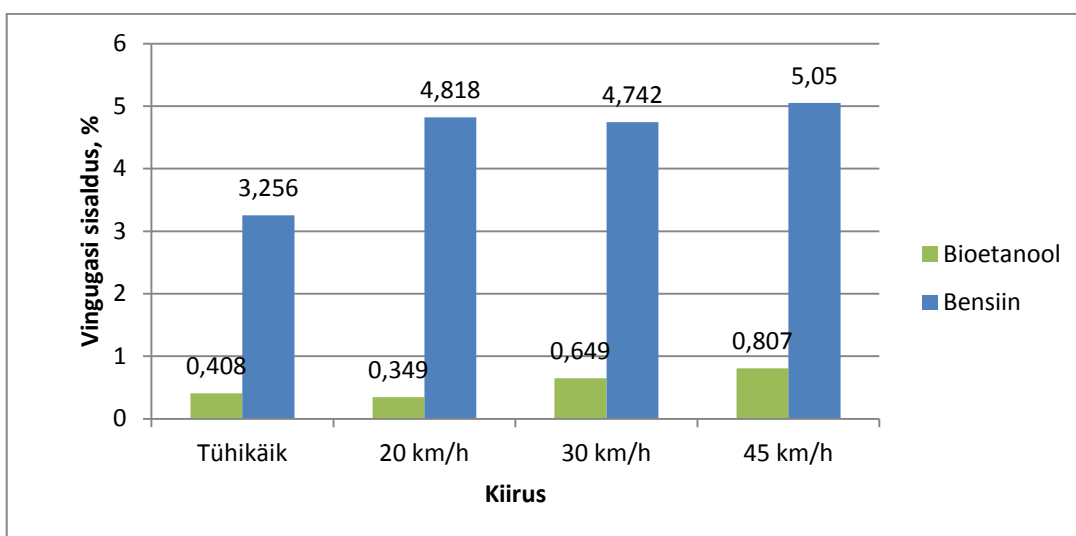
Joonis 11. Pöördemoment bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel

Vaadates joonist 11, on näha, et pöördemoment suureneb bioetanooli kasutades. Kiirusel 20 km/h on pöördemomendi väärtuseks bensiini puhul 0,56 Nm ja bioetanooli puhul 2,89 Nm. Kiiruse tõusmisel kuni 30km/h-ni saadi vastavateks väärtusteks 1,05 Nm ja 2,71 Nm. Maksimumkiiruse puhul oli pöördemoment bensiini kasutades 1,72 Nm ja bioetanooli kasutades 3,04 Nm. Keskmise suhteline erinevus tabeli 8 põhjal on 217% ehk bioetanooli kasutades suurenes pöördemoment märkimisväärselt.

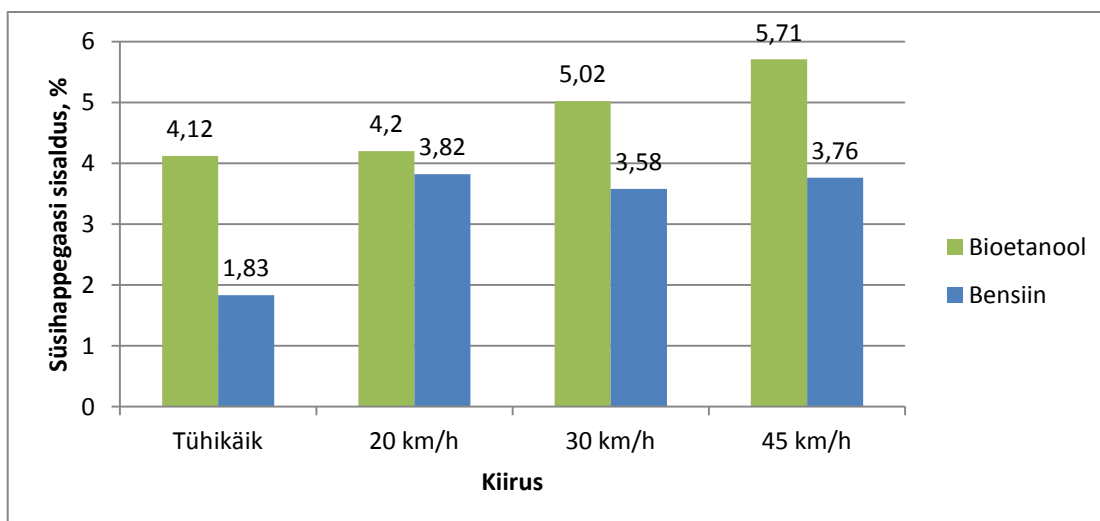


Joonis 12. Summuti temperatuur bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel

Vaadates joonist 12 näeme, et summuti temperatuur muutub ühtlaselt mõlema kütuse puhul. Tühikäigul mõõdeti summuti temperatuuriks bensiinkütuse korral 74,1 ja bioetanoolkütuse korral 68,2. Kiirusel 20 km/h saadi tulemusteks vastavalt 178,7 ja 158,2. Kiirustel 30km/h ja 45km/h saadi temperatuurideks vastavalt 196,7 ja 162,7 ning 252,5 ja 220,2. Keskmise suhteline erinevus temperatuuride vahel on -12% ehk etanooli kasutades vähenes summuti temperatuur 12%. Järelikult põleb bioetanool külmemalt kui bensiin, mis on kasulik vältimaks mootori ülekuumenemist.

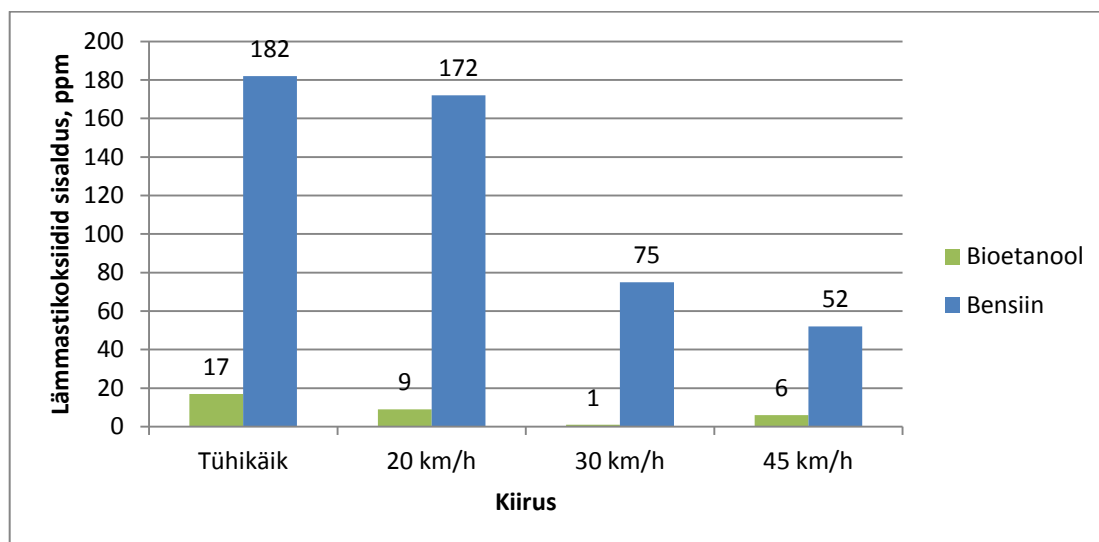


Joonis 13. Vingugaasi sisaldus bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel



Joonis 14. Süsihappegaasi sisaldus bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel

Võrreldes vingugaasi ja süsihappegaasi tulemusi erinevatel kiirustel, on jooniselt 13 ja 14 näha, et tühikäigul vähenes vingugaasi hulk heitgaasides märkimisväärselt bioetanooli kasutades kuid süsihappegaasi hulk tõusis mõnevõrra. Sama muster joonistub välja ka teistel kiirustel – vingugaasi hulk väheneb iga kiiruse puhul olulisel määral samas kui süsihappegaasi hulk tõuseb vähemal määral. Tühikäigul on vingugaasi ja süsihappegaasi sisaldus heitgaasis bensiini puhul vastavalt 3,256% ja 1,83% ning bioetanooli puhul vastavalt 0,408% ja 4,12%. Kiirusel 20km/h on väärtusteks 4,818% ja 3,82% ning 0,349% ja 4,2%. Kiiruse tõustes 30 km/h – ni saadi tulemusteks 4,742% ja 3,58% ning 0,649% ja 5,02%. Maksimumkiirusel on tulemusteks 5,05% ja 3,76% ning 0,807% ja 5,71%. Vingugaasi puhul on keskmine suhteline erinevus bensiini ja bioetanooli kasutades -88% ehk vingugaasi hulk vähenes oluliselt bioetanooli kasutades (vt tabel). Süsihappegaasi puhul on tulemuseks 57% ehk süsihappegaasi hulk suurenes samuti üsna oluliselt (vt tabel). Samas vaadates jooniseid 12 ja 13, on näha, et kõige suurem erinevus nii vingugaasi kui süsihappegaasi sisalduses avaldub kiirusel 20 km/h, kus erinevate parameetrite koostmõju oli kõige sobivam kütuse täielikuks põlemiseks.



Joonis 15. Lämmastikoksiidi sisaldus heitmetes bioetanooliga ja bensiiniga erinevatel kiirustel

Lämmastikoksiidi emissioonis avaldub tugev erinevus kahe kütuse puhul (vt joonis 15). Kasutades kütusena bensiini saadi tühikäigul lämmastikoksiidi sisalduseks 182 ppm, kiirustel 20 km/h, 30 km/h ja 45 km/h saadi tulemusteks vastavalt 172 ppm, 75 ppm ja 52

ppm. Üldpildis on näha, et lämmastikoksiidi sisaldus väheneb kiiruse tõustes. Bioetanooli kasutades saadi samadel kiirustel tulemusteks vastavalt 17 ppm, 9 ppm, 1 ppm ja 6 ppm. Ilmneb, et lämmastikoksiidi praktiliselt ei sisaldu bioetanooli kasutades. See võib tuleneda kasutatavast õlist – bensiini puhul kasutatav õli võis sisaldada lämmastikuühendeid parema segunemise tagamiseks samas kui bioetanooliga kasutatud õli ei sisaldanud lämmastikuühendeid. Vähene lämmastikoksiidi hulk heitgaasides bioetanoolkütuse puhul võib tuleneda ka summutist, mida heitgaas läbib teel õhku ehk tegu võib olla bensiinkütuse kasutamisest järgi jäänud jääkidest.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö käigus uuriti bioetanooli kasutamise võimalikkust ja kasutamise tagajärjel tekkivaid muutusi 2-taktilises L-kategooria mootorsõidukis. Kütustest kasutati bensiini ja 96,7%-list bioetanooli. Parameetritest võrreldi mootori pöördedeid, võimsust, pöördemomenti ja summuti temperatuuri. Heitgaaside puhul mõõdeti vingugaasi, süsihappegaasi ja lämmastikoksiidi sisaldust.

Katsete sooritamise eel tehti mootoris muudatused, mis tagaksid eduka bioetanoolkütuse kasutamise selleks masinat rikkumata. Välja vahetati peadüüs ning lisati asendus kütusepaak ja –voolik, pidades silmas etanooli põlemiseks vajalikku õhu kogust ja kokkupuutepindade materjale. Katsed sooritati isikliku kahetaktilise karburaatormootoriga mopeediga Maaülikooli katselaboris.

Bakalaureusetöö eesmärgi täitmiseks püstitati kolm uurimisküsimust.

Vastavalt töö esimesele uurimisküsimusele leiti, et mootori võimsus muutub, kui kasutada bensiini asemel bioetanooli. Nelja erineva katsepunkti korral leiti, et keskmiselt tõuseb mootori võimsus 198% bioetanoolkütust kasutades.

Teine uurimisküsimus puudutas muutusi heitgaasides. Katse käigus leiti, et heitgaasides avalduvad tugevad muutused kuid mõnevõrra vastuolulised teooriaga. Kasutades bioetanoolkütust, vähenesid märkimisväärselt vingugaasi ja lämmastikoksiidi sisaldus. Vingugaasi sisaldus vähenes 88% ja lämmastikoksiidi 93%. Samas tõusis süsihappegaasi sisaldus 57%.

Kolmanda uurimisküsimuse raames otsiti vastust summuti temperatuuri puudutavale küsimusele. Katse käigus selgus, et bioetanooli kasutades vähenes summuti temperatuur 12% võrreldes bensiiniga. Järelikult bioetanool kütus põleb külmema temperatuuriga ning aitab vältida mootori ülekuumenemist.

Uurimisküsimuste kaudu jõuti järeldusele, et kahetaktilises mootoris on võimalik kasutada 96,7% bioetanool kütust. Töö edasiarendusena soovitab töö autor katseid läbi viia kõrgematel keskkonna temperatuuridel.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Tulvi, A.** (2013). Logistika õpik kutsekoolidele: Roheline logistika, Tallinn. [WWW] http://www.innove.ee/UserFiles/Kutseharidus/%C3%95ppekava/Logistika%20%C3%B5pik%20kutsekoolidele/19_Roheline%20logistika.pdf (27.02.2017)
2. **Kask, Ü.** (2013). Bioetanooli kasutamise eeldused ja võimalused Eestis. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli soojustehnika instituut. [WWW] https://energiatalgud.ee/img_auth.php/8/81/Kask,_%C3%9C._Bioetanooli_kasutamise_eeldused_ja_v%C3%B5imalused_Eestis.pdf (21.11.2016)
3. **Velling, S.; Vaasma, T.** (2013). Energiaallikas biomass. Tartu: Tartu Ülikool. [WWW] <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/30198/bioetanool.html> (21.11.2016)
4. **Olt, J.; Mikita, V.; Sõõro, T.; Küüt, A.; Tamm, R.; Raidla, E.; Ilves, R.; Ristlaid, K.; Raudsepp, V.; Viitkar, U.** (2009). Bioetanool ottomootori kütusena. Agraarteadus : journal of agricultural science : Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi väljaanne. [WWW] http://agrt.emu.ee/pdf/2009_2_olt2.pdf (11.04.2017)
5. **Ristlaid, K.** (2009). Kütused, määrdeained ja tehnilised vedelikud. Lennunudusbensiinid. Detonatsioonikindlus Tartu: Eesti Lennuakadeemia. [WWW] http://www.eava.ee/opiobjektid/mto/aerokytus/213__detonatsioonikindlus.html (28.05.2017)
6. **Brain, M.** What does octane mean? – HowStuffWorks. [WWW] <http://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/fuel-consumption/question90.htm> (28.05.2017)
7. **Ahonen, H.; Honkanen, V.; Koisaari, T.** (2012). Tehnikamaailm. Moondunud tõde. [WWW] <http://www.tehnikamaailm.ee/moondunud-tode/> (21.05.2017)
8. **Tramm, T.** (2004). Äripäev. Heitgaasid tekitavad ülevaatuspunktis peavalu. [WWW] <http://www.aripaev.ee/uudised/2004/11/11/heitgaasid-tekitavad-ulevaatuspunktis-peavalu> (21.05.2017)
9. **Eesti Keemiatööstuse Liit; AF-Consulting AS.** (2013). Eesti Põlevkivi tootmise parim võimalik tehnika. Tallinn. [WWW] https://energiatalgud.ee/img_auth.php/2/2b/AF_Estivo._Eesti_P%C3%B5levkivi%C3%B5li_tootmise_parim_v%C3%B5imalik_tehnika.pdf (28.05.2017)

10. **Karro, M.** (2004). Tallinna välisõhu saastumuse võimalik mõju tervisele. Magistritöö. Tartu: Tartu Ülikool. Tervishoiu instituut. [WWW] <http://rahvatervis.ut.ee/bitstream/1/1022/1/Karro2004.pdf> (21.05.2017)
11. **Jõgisaar, K.** (2009). Bioneer. Happesademed. [WWW] <http://www.bioneer.ee/eluviis/loodus/aid-4439/Happesademed> (30.05.2017)
12. **Pipar, M.** (2006). Autoleht. [WWW] <http://www.favora.ee/184est.pdf> (04.04.2017)
13. WRT BV products. Additive descriptions. [WWW] <http://www.wrtbv.com/oil-additives/> (30.05.2017)
14. **Rohde-Szudy, R.** Ethanol in two-stroke outboards. USA. [WWW] <http://www.duckworksmagazine.com/06/columns/rob/maib2.htm> (22.11.2016)
15. Mootorsõiduki ja selle haagise tehnonõuded ning nõuded varustusele (vastu võetud 13.06.2011, määrus nr 42. lisa 5). -Riigi teataja. [WWW] https://www.riigiteataja.ee/aktilisa/1310/7201/5010/MKM42_lisa5.pdf (22.11.2016)
16. Sõidukite ja masinate kategooriad. -Maanteeamt [WWW] <https://www.mnt.ee/et/soiduk/soidukite-ja-masinate-kategooriad> (30.05.2017)
17. **Brain, M.** (2000). How Two-Stroke Engines Work. – HowStuffWorks. [WWW] <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/two-stroke.htm> (13.05.2017)
18. **Arro, H.** (2006). Mootorsaag. [WWW] <http://www.kool.ee/?6212> (22.11.2016)
19. Setting National Fuel Quality Standards. Proposed Fuel Quality Standard – Ethanol (E85) Automotive Fuel. – Australian Government. [WWW] <http://www.environment.gov.au/system/files/consultations/faa89c49-d8f0-4db0-b8a7-21257ea52063/files/ethanol-e85-position-paper.pdf> (30.05.2017)
20. **Vähi, A.** (2016). Rakis mootorrataste kinnitamiseks katsestendi DynoJet 22xLC. Bakalaureusetöö. Tartu: Eesti Maaülikool. [WWW] https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/2937/Andres_V%C3%A4hi_2016B_A_TA_T%C3%A4istekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y (14.05.2017)
21. Dynojet products. [WWW] <http://www.dynojet.com/products/dynamometers/DynoModel224xLC/dynojet-dynamometer-224xlc.aspx#specs> (14.05.2017)
22. Dynojet RESEARCH. Software/Firmware Downloads [WWW] <http://www.dynojet.com/downloads/downloads.aspx?dc=Software/Firmware> (15.05.2017)
23. Tartu Lennukolledž. Mootorite katselabor. Võimsuse arvutamine. [WWW] http://www.eava.ee/opiobjektid/mkl/mkl1/vimsuse_arvutamine.html (27.05.2017)
24. Bosch products. Bosch emission analysis for a clean environment. [WWW] http://www.sksservice.pl/pdf/broszura_bea.pdf (27.05.2017)

25. Infrapuna termopeeter HoldPeak HP-420. Kasutusjuhend (27.05.2017)
26. Motul products. 800 2T Factory Line ROAD RACING [WWW] https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/motul-production2/images/product_descriptions/technical_data_sheets/77818/800_2T_Factory_Line_Road_Racing_TDS__28GB_29.pdf?1492017621 (14.05.2017)
27. Red Line Synthetic Oil products. [WWW] <https://w3apps.phillips66.com/NetMSDS/ViewPDF.aspx?fileName=828899&Language=EN&IssueDate=5%2f22%2f2015&SubFormat=USDS> (14.05.2017)
28. **Wenning, C. J.** (2014). Student Laboratory Handbook. [WWW] <http://www2.phy.ilstu.edu/~wenning/slh/Percent%20Difference%20Error.pdf> (29.05.2017).

BIOETHANOL AS 2-STROKE ENGINE MOTOR FUEL IN L-CATEGORY VEHICLE

Summary

The purpose of this bachelor's thesis is to investigate the possibilities to use bioethanol fuel in two stroke L-category vehicle. Indicators measured through experiments included rotation frequency, power, torque and emission. Emission measurements included CO, CO₂ and NO. Fuels used during tests were gasoline and 96,7% bioethanol.

Before experiments some changes were made in engine that would make it possible to use bioethanol in given vehicle. The changes included replacing the main jet, replacement tank and hose. The vehicle used in experiments were personal two stroke carburetor moped *Yamaha Aerox*.

Three research questions were raised to reach the purpose of the thesis:

- If and how does the power change using bioethanol instead of gasoline?
- What kind of changes appear in emission?
- Does the exhaust temperature depends on the fuel used in vehicle?

Experiments were conducted in the laboratory of Estonian University of Life Sciences. Instruments used to measure parameters were – *DynoJet 224xLC* to measure speed, torque and power, *Bosch BEA 350* to measure emission composition and *HoldPeak HP-420* to measure exhaust temperature.

The main results were that rotation frequency decreases slightly using bioethanol fuel. The power and torque increased largely. The exhaust temperature also decreased slightly. Measuring the changes in emission composition it was concluded that the content of CO decreased remarkably, whilst the content of CO₂ increased. The decreasing tendency also occurred in composition of NO.

In conclusion it can be said, that bioethanol fuel is suitable for using in two-stroke vehicles.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kristjan Loodus,
(sünnipäev pp/kuu/aa 39211246812)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Bioetanool 2-taktilise L-kategooria mootorsõiduki kütusena, mille juhendaja on doktorant Keio Küt (MSc),

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 2.06.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)